

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotechniky

Analýza problematiky pohonného ústrojí servisního  
robotu určeného pro práci v rizikovém prostředí

Analysis of a Driving Mechanism for a Service  
Robot Appointed for Operation in Hazardous  
Environments

Student:

Jan Šeděnka

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Milan Mihola

Ostrava 2010

Kopie zadání 1 část

Kopie zadání 2 část

***Prohlášení studenta***

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... ..

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

plné jméno autora práce

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ŠEDĚNKA, J. Analýza problematiky pohonného ústrojí servisního robotu určeného pro práci v rizikovém prostředí: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2010, počet stran 57s. Vedoucí práce: Mihola, M.

Bakalářská práce se zabývá problematikou pohonů mobilních robotů v prostředí požáru. V úvodu jsou popsány možné typy pohonů mobilních robotů jejich srovnání a zvážení výhod a nevýhod. Na základě těchto poznatků byly vypracovány možné varianty řešení. Porovnáním parametrů jednotlivých variant byla vybrána nejvhodnější varianta. Výsledná varianta je dále rozpracována s uvedením možného řešení chlazení celého systému.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ŠEDĚNKA, J. Analysis of a Driving Mechanism for a Service Robot Appointed for Operation in Hazardous Environments: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, number of pages 57p. Thesis head: Mihola, M.

Bachelor thesis is concerned with drive problem of mobile robots in fire environment. In introduction are described possible types of mobile robots and comparison of their advantages and disadvantages. Based on these information's possible solutions are constructed. Best solution is chosen by comparing parameters of possible solutions. Final solution is worked out with introduction of possible cooling system.

# Obsah

Seznam použitého značení.....	9
Úvod.....	11
1. Požadavkový list .....	12
2. Pracovní prostředí .....	13
2.1. Požár.....	13
2.2. Třídy požáru .....	14
3. Stávající řešení.....	15
3.1. BROUČEK I .....	15
3.2. T-52 Enryu .....	16
3.3. Rainbow 5 .....	17
4. Dostupné pohonné jednotky pro servisní roboty .....	18
4.1. Spalovací motor .....	18
4.2. Pneumatické motory.....	22
4.3. Elektromotory .....	23
5. Vypracované varianty řešení .....	32
5.1. Varianta č. 1 .....	32
5.2. Varianta č. 2 .....	35
5.3. Varianta č. 3 .....	38
5.4. Varianta č. 4 .....	41
6. Výběr varianty .....	43
7. Výsledná varianta .....	44
7.1. Elektromotor .....	44
7.2. Akumulátor .....	45
7.3. Krytování.....	46

7.4. Chladicí systém .....	47
7.5. Vnitřní konstrukce.....	50
7.6. Podvozek .....	51
7.7. Konečné parametry výsledné varianty .....	52
8. Doplnující subsystémy .....	53
Závěr .....	54
Literatura.....	56



## Seznam použitého značení

C	[kJ/kg*K]	měrná tepelná kapacita
d	[m]	průměr kola
F	[N]	síla
g	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitační zrychlení
i	[-]	převodový poměr
l	[m]	tloušťka
L <sub>v</sub>	[J/kg]	měrné skupenské výparné teplo
m	[kg]	hmotnost
M	[N/m]	moment
n	[1/min]	otáčky
p	[MPa]	tlak
P	[kW]	výkon
q	[W/m <sup>2</sup> ]	hustota tepelného toku
Q	[W]	tepelný výkon
S	[m <sup>2</sup> ]	obsah
t	[°C]	teplota
T	[K]	teplota
v	[m/s]	rychlost
V	[m <sup>3</sup> ]	objem
V <sub>vzd</sub>	[m <sup>3</sup> /kg]	objem vzduchu pro spálení kilogramu paliva
w	[m/s]	rychlost výtoku vzduchu
α	[°]	úhel stoupání
β	[°]	úhel stoupání
η	[%]	účinnost
κ	[-]	adiabatický exponent

$\lambda$	[°]	úhel stoupání
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota
$\tau$	[s]	čas

## Úvod

Cílem mé bakalářské práce je analyzovat problematiku pohonů servisních robotů pracujících v rizikovém prostředí. Analýza bude zaměřena především na možné typy pohonů a jejich zhodnocení pro danou problematiku.

Pokládám za důležité definovat co je rizikové prostředí – Rizikové prostředí je prostředí s výskytem vysokých teplot, ohně a jiných doprovodných jevů vyskytujících se při požáru. V tomto prostředí se nevyskytují chemicky agresivní látky. Pouze látky obsažené běžně ve vzduchu, nebo látky vzniklé hořením.

Hlavním úkolem mé práce je vybrat nejvhodnější typ pohonu. Jelikož většina vyráběných pohonů je konstruována pro normální prostředí, přinese vybrání nejvhodnějšího pohonu zvýšení spolehlivosti servisního robotu. Vyřešení problematiky pohonů pro dané krizové prostředí usnadní vývoj a nastíní další směřování v konstrukci servisních robotů pracujících v daném prostředí. Toho bude dosaženo zvážením výhod a nevýhod jednotlivých vlastností pohonů.

## 1. Požadavkový list

Požadovaný výkon	60 – 80 kW
Teplota okolí	100°C
Chemické látky v okolí	zamořeno běžně
Provozní doba	1-3 hodiny
Hmotnost	nízká
Rozměry	kompaktní
Vlastnosti použitých komponentů	netoxické a nehořlavé

## 2. Pracovní prostředí

Pro samotnou práci je třeba definovat prostředí, ve kterém se bude pohonná jednotka pohybovat.

### 2.1.Požár

Požár je každé nežádoucí hoření, při kterém došlo:

- k usmrcení nebo zranění osob
- k usmrcení nebo zranění zvířat
- ke škodám na materiálních hodnotách
- ke znečištění nebo zničení životním prostředím

Požár vzniká z příčin technické závady, lidského faktoru, přírodního vlivu nebo úmyslně (žhářství).

Oheň je chemická reakce hoření. Tuto chemickou reakci většinou doprovází světelné záření a tepelné záření. K této chemické reakci (většinou oxidaci) dochází za specifických podmínek, kdy je nutné, aby byly přítomny potřebné sloučeniny. Tato reakce trvá tak dlouho, dokud nedojde ke spálení veškerého paliva nebo k vytvoření nevyhovujících podmínek pro další pokračování reakce.

#### Typická teplota ohně

- Spalování vodíku s kyslíkem 2000°C
- Plynový hořák 1300°C
- Kahan 1300°C
- Svíčka 1000°C
- Teplota uvnitř cigarety 400°C

## 2.2. Třídy požáru

Pro potřeby lepší požární ochrany byly zavedeny třídy požáru lišící se typem hořícího paliva.

Třída A – jedná se o požár tuhých organických látek jako je papír, dřevo, textil. Požár se hasí vodními, práškovými nebo pěnovými přístroji.

Třída B – hořícím palivem jsou kapaliny nebo látky přecházející do kapalného skupenství. Palivem může být benzín, nafta, dehet, tuky. Požár se hasí vodními, práškovými nebo pěnovými přístroji.

Třída C – požár organických a anorganických plynů jako je acetylen, vodík, metan, propan. Požár se hasí práškovými nebo sněhovými přístroji.

Třída D – palivem jsou lehké alkalické kovy jako hořčík nebo slitiny hliníku. Kvůli vysokým teplotám požáru jsou použity speciální suchá hasiva nebo speciálně upravené prášky.

### Fáze požáru

Z pozorování požáru byly stanoveny fáze, podle měnících se vlastností požáru v průběhu vlastního hoření.

Průběh požáru můžeme rozdělit na 4 fáze:

1. fáze je započata vznikem požáru a rozhořením prvních předmětů. V praxi se uvažuje čas 10 minut. V této fázi požáru je malá výměna plynu a nízká teplota v okolí. Fáze se často označuje jako fáze rozhořívání.
2. V průběhu druhé fáze je prudký nárůst teploty v okolí a zapálení většiny předmětů v okolí požáru.
3. V této fázi je stabilní vysoká teplota probíhá intenzivní hoření a je největší výměna plynů. Požárem jsou zasaženy všechny hořlavé předměty v prostoru.
4. V poslední fázi hoření se postupně snižuje teplota okolí a objem vyměňovaných plynů. Tento pokles nastává zpravidla vyhořením paliva. Dojde k ukončení veškerého hoření.

Nejlépe je začít s hašením v první fázi hoření nebo na začátku fáze druhé kdy ještě nedošlo k plnému rozhoření.

### 3. Stávající řešení

Přehled stávajících robotů, které už jsou v praxi používány.

#### 3.1.BROUČEK I

BROUČEK I Robot vyrobený firmou 1. Robotická s.r.o. ve spolupráci s ČVUT. Jedná se o dálkově ovládaný robot. Je určen pro práci v rizikovém prostředí, kde hrozí požár, výbuch nebo chemická havárie.

Provoz zajišťují bezúdržbové akumulátory. Provozní doba se pohybuje od 1 do 3 hodin. Tepelná odolnost je 150°C. Pohon zajišťují dva elektromotory pohánějící pásový podvozek a hydraulický agregát pohybující ramenem robotu.

Hmotnost objektu manipulace: 150 kg,

Délka: 2000mm

Šířka: 670mm

Výška: 1200mm

Hmotnost: 650kg



*Obr. 1 – požární robot BROUČEK I*

### 3.2.T-52 Enryu

Požární robot od firmy TMSUK Robotics je používáný Tokijským požárním sborem. Robot je odolný proti požáru. Robot je možno ovládat přímo z kabiny robotu nebo z operátorského vozu. Robot bývá nasazen i při odklizení škod po zemětřesení.

Parametry robotu:

Výška: 3500mm

Hmotnost: 5000 kg

Hmotnost objektu manipulace: 1000kg



*Obr. 2 – robot T52Enryu*



### 3.3.Rainbow 5

Požární robot Tokijského hasičského sboru. Určeny pro velmi nebezpečné požáry. Je schopen dopravit velké množství vody nebo hasící pěny k místu požáru. Povrch robotu je žáruvzdorný. Robot je řízen dálkově. Monitorování prostředí zajišťují 4 kamery.

Parametry robotu

Délka:	3.875m
Výška:	1.80m
Šířka:	2.37m
Hmotnost:	4.150kg
Dosah:	100m
Pomocné čerpadlo:	3000 l/min



*Obr. 3 – Robot Rainbow 5*

## **4. Dostupné pohonné jednotky pro servisní roboty**

Pro návrh možných pohonných jednotek je v následujícím textu uvedeny typy pohonů. U pohonů je dále zhodnocená vhodnost pro danou oblast použití.

### **4.1. Spalovací motor**

Spalovací motor přeměňuje chemickou energii paliva na mechanickou práci. K této chemické reakci dochází buď uvnitř motoru, nebo i mimo prostor motoru.

Při chemické reakci se palivo chová podle stavové rovnice plynu. Dochází ke změně tlaku, objemu nebo teploty. Změny však závisí i na parametrech v okolí např.: objem spalovací komory, teplota v okolí, atd. Změny vzniklé při chemické reakci nám pak konají práci a to buď působením tlaku na pohyblivou část motoru (zážehové a vznětové motory) nebo při výtoku pracovní látky z motoru podle zákona akce a reakce (spalovací turbíny). Využitá práce je však nižší než práce uvolněná a to v souladu s druhým termodynamickým zákonem. Druhý termodynamický zákon: „není možné sestavit tepelný stroj, který by jen přijímal teplo a konal tomuto teple ekvivalentní práci.“

#### **Paliva**

Paliva jsou pro spalování v motorech vybírána podle jejích vlastností, jako jsou dobrá smísitelnost se vzduchem tak aby byla vytvořena homogenní směs pro rovnoměrné hoření a stlačitelnost vytvořené směsi.

Nejčastějšími palivy jsou: benzín, motorová nafta, stlačený zemní plyn, zkapalněný propan-butan, alkoholy do budoucna se počítá s novými ekologickými palivy jako je například vodík.

Veličina	Rozměr	Benzín	Motorová nafta
Obsah uhlíku	%	0,84	0,866
Obsah vodíku	%	0,12	0,121
Obsah kyslíku	%	0,015	0,004
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	720	840
V <sub>vzd-min</sub>	m <sup>3</sup> /kg	12,7	12,16
Teplota vypařování	°C	80	150
Teplota vzplanutí	°C	-30	55
Teplota vznícení	°C	450	300

*Tab. 1 – chemické a fyzikální vlastnosti vybraných paliv [6]*

### **Zážehový motor**

Zážehový motor je motor kde při stlačení homogenní zápalné směsi dojde k výbuchu směsi, která je zapálená pomocí jiskry od svíčky. Motor může být realizován s přímočarým pohybem pomocí pístů, nebo rotačním pohybem jako je Wankelův motor.

### **Vznětový motor**

Vznětový motor ke vznícení na rozdíl od zážehového motoru nepotřebuje svíčku. Výbuch nastává vstříknutím paliva do stlačeného vzduchu uvnitř pístu. Palivo je tedy dodáváno odděleně od vzduchu a to pomocí vysokotlakého kompresoru. Vstříknutím paliva do válce pod tlakem způsobí rychlý vznik homogenní směsi a tím i lepší prohoření paliva. Díky těmto vlastnostem dosahuje vznětový motor lepších účinností, avšak platí za to těžší konstrukcí a větší hlučností motoru. Navíc uvnitř pístu vznikají vyšší teploty a je nutné vzhledem k tomuto faktu dimenzovat i chladič. Nejčastěji se vyskytuje jako čtyřdobý motor.

### Srovnání spalovacích motorů

		Motor	
		Zážehový	Vznětový
Teplo přeměněné na výkon [%]		32	45
Teplo odvedené chlazením	Teplo odvedené při hoření [%]	6	8
	Teplo odvedené při expanzi [%]	7	6
	Teplo odvedené při výfuku [%]	15	9
Teplo vyvolané třením pístu [%]		2	2
Teplo odvedené výfukovými plyny a zářením [%]		38	30

Tab. 2 – srovnání tepelných bilancí motoru [6]

### Chladicí zařízení spalovacích motorů

Vzduchové chlazení – jen u malých motorů, výjimečně u automobilových motorů

- menší rozměry a hmotnost
- odpadá chladič
- motor nemrzne
- lepší startovací podmínky
- menší příkon na chlazení
- lepší uplatnění v extrémních podmínkách (mráz, horko)
- při vyšších teplotách ztrácí výkon

kapalinové chlazení

- rovnoměrnější rozdělení tepla ve stěnách
- menší hlučnost motoru
- možnost použití horší kvality oleje
- lepší provozní vlastnosti s ohledem na prašné prostředí
- vyšší životnost ventilů, pístové skupiny a hlav

- menší náklady na vývoj a výrobní náklady
- při použití oleje jako chladicí kapaliny je přípustná teplota chladicí kapaliny i 130°C

### **Mazání motoru**

Teplota v průběhu provozu nesmí překročit přípustné meze to je mezi 120-130°C. Chladič oleje se většinou používá trubkový, kolem kterého protéká chladicí kapalina. Při dlouhodobém přehřívání oleje dochází k jeho znehodnocování a zanášení filtru. V takovém případě je potřeba častěji měnit olej i olejový filtr.

### **Hodnocení pohonu pro zadaný účel**

Mají kompaktní rozměry a relativně malou hmotnost vzhledem k výkonu motoru. Provozní doba je u tohoto pohonu výborná. Jako zdroj energie je však použito hořlavé či výbušné palivo. Rovněž velké množství olejů. Pro potřeby spalování je nasáván vzduch z okolí, který je při podmínkách okolního požáru bez dostatečného množství kyslíku. Horký vzduch poškozuje vzduchový filtr a poletavý popel ucpává chladič. Možný řešením problému s nedostatkem kyslíku v okolí je možnost dodávat potřebný vzduch z tlakových lahví. Spalovací motor ovšem nikdy nespálí všechny kyslík a ten poté odchází s výfukovými plyny.

Chladicí vzduch musí mít o 50°C nižší teplotu než maximální povolená teplota na chladiči. Motory chlazené pomocí kapalinového chladiče by měly být olejové aby pokud dojde k přehřátí vody, nedošlo k vytvoření tlaku uvnitř motoru. Navíc olejový chladič má provozní teplotu o 30°C vyšší.

Provoz pohonné jednotky se navíc v takovémto prostředí prodražuje častější povinnou údržbou v důsledku rychlejší degradace oleje a filtrů. Kolem motoru musí aspoň částečně proudit chladný vzduch, aby nedocházelo k překročení provozní teploty v okolí motorů. Z tohoto důvodu není možno motor kompletně oplechovat a uchránit jej tak od žáru a žhavého poletavého materiálu.

## **4.2.Pneumatické motory**

Princip pneumatického motoru je podobný spalovacímu motoru. Největší rozdíl je v typu paliva. U pneumatického motoru používá stlačený vzduch místo výbuchu paliva jak u spalovacího motoru. Síla vyvolaná na píst je však mnohem menší ve srovnání se spalovacím motorem a to kvůli nízkému tlaku stlačeného vzduchu. Účinnost motoru se kvůli již zmíněné malé síle na píst pohybuje kolem 15-20 [%]. Při expanzi vzduchu uvnitř pístu dochází k ochlazování vzduchu, který po ukončení expanze je vyfouknut. Teplota vyfouknutého vzduchu se pohybuje kolem 0°C. Motory jsou mazány pomocí oleje smíchaného se stlačeným vzduchem.

### **Hodnocení pohonu pro zadaný účel**

Výhodou těchto motorů je, že jako palivo je použit stlačený plyn. Jako možné palivo je proto možné použít nevýbušné plyny jako je dusík. Plyn však musí být zbaven vlhkosti a pevných částic. Kvůli nízkému tlaku a účinnosti nutno použít velké množství plynu. Tento plyn však nemůžeme dodávat do motoru pomocí agregátu. Agregát by totiž spotřebovával plyn z okolí, který má vysokou teplotu a jeho dalším stlačováním by došlo k dalšímu nárůstu teploty. Takovéto teploty by poškodily agregát i pneumatický motor. Plyn z ovzduší zamořený poletavým popelem a žhavými částicemi by zanesly a poškodily vzduchový filtr. Tento problém je možno řešit dodáváním stlačeného vzduchu z tlakových lahví. Kvůli nízké účinnosti je ovšem potřeba velkého množství tlakových lahví.

Tyto motory se vyznačují jednoduchou údržbou. Řízení motoru probíhá pomocí regulace tlaku a průtoku plynu. Pokud se do motoru dodával chladný vzduch, mohlo by dojít k poklesu teploty uvnitř motoru a k jeho nesprávné funkci. Nevýhodou tohoto typu motorů je nedostatečná výroba v oblasti motorů nad 5 kW. S rozvojem ekologických pohonů se však objevují noví výrobci s motory o vyšší účinnosti i výkonu. Tyto motory jsou nasazeny již u několika automobilů. Jejich výhodou je rychlejší doplnění paliva než u elektromotorů. Takovéto auta vyrábí např. Tata motors nebo MDI.

### **4.3.Elektromotory**

Elektromotor je obvykle točivý stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci. Zdrojem elektrické energie může být střídavý nebo stejnosměrný proud. Většina motorů pracuje na elektromagnetickém principu. Krouticí moment v motoru vzniká působením magnetických polí a jejich odpuzováním nebo přitahováním. Zdrojem energie může být akumulátor nebo přípojka k elektrické síti.

Elektromotor se skládá z rotoru, který se v elektromotoru otáčí, a nepohyblivého statoru. Ve statoru a rotoru se vytváří magnetické pole. Tyto pole na sebe vzájemně působí a vytvářejí tak krouticí moment. Výstupní otáčky motoru jsou stejné jako rychlost otáčení rotoru.

Elektromotory se dělí podle zdroje energie na stejnosměrné a střídavé elektromotory a na komutátorové a bezkomutátorové elektromotory. Komutátor slouží ke změně působení elektromagnetického pole rotoru na permanentní magnety statoru. U bezkomutátorových elektromotorů dochází ke změně magnetického pole protékáním střídavého proudu cívkami.

## Srovnání baterii

Jako zdroj elektrické energie jsou použity akumulátory. Pro výběr baterie bude ke každému typu baterie přiřazen zástupce. Výběr bude probíhat srovnáním baterii pro požadovaný výkon 60kW.

### Lithium polymerové baterie

Rozšířené baterie ve spotřební elektronice. Skládá se z anody vyrobené z uhlíku, katody vyrobené z oxidu kovu a jako elektrolyt je použita lithiová sůl.

#### Výhody

- Různé tvary článků
- Vysoká hustota energie více jak 200Wh/kg
- Téměř žádné samovybíjení

#### Nevýhody

- Stárnutím se snižuje kapacita
- Nebezpečí zahřívání, vznícení se a výbuchu
- Životnost článků 500 cyklů

Zástupce – High Power Polymer Li-Ion Battery: 51.8V 21Ah - *Obr. 4*

Kapacita:	21Ah
Napětí:	51,8V
Provozní teploty:	0°C- +55°C
Hmotnost:	5,5kg
Rozměry DxŠxV	280x154x74mm
Počet baterii pro 60kW:	60
Hmotnost pro 60kW:	330kg



*Obr. 4 – Li-Ion baterie*



## Lithium-železo-fosfátová baterie

Nedávno objevený chemický princip akumulátoru na bázi  $\text{LiFePO}_4$ . V současné době se vývoji těchto baterií věnuje většina automobilových firem. V budoucnu se počítá se zlepšením kapacitních vlastností baterií a zkrácení doby nabíjení.

### Výhody

- Odolné proti tepelným únikům
- Bezpečnější méně náchylné na zkrat a přehřátí
- Nižší náklady na výrobu
- Schopnost dodávat špičkově velký proud

### Nevýhody

- Nelze je vybit pod 30 % kapacity jinak může nastat selhání baterií
- Velké rozměry a hmotnost

Zástupce – VALENCE U27-12RT - Obr. 5

Kapacita:	138Ah
Napětí:	12,8V
Provozní teploty:	-20°C- +60°C
Hmotnost:	19,5kg
Rozměry DxŠxV	260x172x255mm
Počet baterií pro 60kW:	34
Hmotnost pro 60kW:	663kg



Obr. 5 –  $\text{LiFePO}_4$  baterie

## Níkl-metal hydridový akumulátor

Typ akumulátoru používaný v elektrotechnice dnes méně používaný. Jedná se o galvanický článek vyrobený z Ni-MH. Nevadí úplné vybití, avšak pro opětovné dobíjení je třeba dodat až 150% energie kapacity článku.

### Výhody:

- Může se plně vybit
- Levné
- Životnost 1000 cyklů
- Mohou být skladovány vybité
- Pracují dobře i za nízkých teplot

### Nevýhody:

- Má paměťový efekt
- Nízkou kapacitu 60Wh/kg
- Nízká napětí

Zástupce – PANASONIC NiMH case modul - *Obr. 6*

Kapacita:	6,5Ah
Napětí:	7,2V
Provozní teploty:	-40°C- +50°C
Hmotnost:	1,05kg
Rozměry DxŠxV	285x19,6x106mm
Počet baterií pro 60kW:	1282
Hmotnost pro 60kW:	1346kg



*Obr. 6 – NiMH baterie*

## Olověné akumulátory

Galvanický článek s olověnými katodami a elektrolytem tvořeným kyselinou sírovou. Používaný především pro startování automobilů.

Výhody:

- Dobře zvládnutá technologie výroby
- Nízká cena
- Výroby ve velkých kapacitách 1- 10000Ah

Nevýhody:

- Jedovaté olovo
- Nízké rozmezí pracovních teplot
- Musí se provádět pravidelná údržba
- Těžké
- Velké rozměry
- Špatná životnost

Zástupce – TRAKČNÍ BATERIE Traction Bull 2PzS 120Ah - *Obr. 7*

Kapacita:	120Ah
Napětí:	24V
Provozní teploty:	-15°C- +40°C
Hmotnost:	101kg
Rozměry DxŠxV	282x396x370mm
Počet baterií pro 60kW:	21
Hmotnost pro 60kW:	2121kg



*Obr. 7 – Olovněný akumulátor*

## Zinek-vzduch Baterie

Nový typ baterie pracující na principu reakce zinku se vzduchem. Při této reakci se uvolní elektrická energie. Regulace dodávané elektrické energie pomocí přísunu vzduchu. Je to obdoba palivového článku, ale místo vodíku je v baterii obsažen zinek. Dobíjení probíhá recyklací zinkových tyčí, které se nejprve vytáhnou a poté se nové vloží zpět.

### Výhody:

- Vysoká hustota energie 370 Wh/kg
- Levné
- Lehké
- Životnost až 3000 cyklů
- Netoxický

### Nevýhody:

- Zatím na začátku vývoje
- Dobíjení probíhá pomocí mechanické výměny zinkových tyčí
- Málo výrobců
- Nutný přísun vzduchu

Zástupce – The Zinc-Air Module – *Obr. 8*

Kapacita:	325Ah
Napětí:	50V
Hmotnost:	88kg
Rozměry DxŠxV	726x350x310mm
Počet baterií pro 60kW:	4
Hmotnost pro 60kW:	352kg



*Obr. 8 – Zinkový akumulátor*

## Baterie s roztavenou solí

Princip baterie spočívá v tom, že je nutno zahřát sůl  $\text{NaAlCl}_4$  uvnitř baterie. Tato sůl pak dodává proud. Teplota uvnitř baterie se pohybuje kolem  $270^\circ\text{C}$ . Jedná se o nový typ baterii

### Výhody:

- Velká kapacita 180Wh/kg
- Velký počet cyklů až 3500
- Velké napětí 200V a více
- Poměrně lehké

### Nevýhody

- Málo výrobců
- Dlouhé nabíjení
- Baterie se rychle sama vybije (přibližně 10 dnů)

Zástupce – ZEBRA Batteries Z12-557-ML3X-152 - *Obr. 9*

Kapacita:	152Ah
Napětí:	278V
Provozní teploty:	$-40^\circ\text{C}$ - $+50^\circ\text{C}$
Hmotnost:	358kg
Rozměry DxŠxV	1058x760x256mm
Počet baterii pro 60kW:	2
Hmotnost pro 60kW:	716kg



*Obr. 9 – Baterie s tavnou solí*

### **Zhodnocení baterii pro požadovaný výkon**

Typ baterie	Počet baterii	Celková hmotnost	Celkový objem
Li-Ion Battery: 51.8V 21Ah	60	330 kg	0,192 m <sup>3</sup>
VALENCE U27-12RT	34	663 kg	0,387 m <sup>3</sup>
NiMH case modul	1282	1346 kg	0,759 m <sup>3</sup>
Traction Bull 2PzS 120Ah	21	2121 kg	0,868 m <sup>3</sup>
The Zinc-Air Module	4	352 kg	0,315 m <sup>3</sup>
ZEBRA Batteries Z12	2	716 kg	0,412 m <sup>3</sup>

*Tab. 3 – srovnání baterii pro výkon 60 kW*

Pro potřeby pohonné jednotky s elektromotorem byly vybrány akumulátory ZEBRA Batteries Z12. Tyto baterie byly vybrány z důvodu jejich toxické nezávadnosti a vysokému výstupnímu napětí. Mají vysoký počet nabíjecích cyklů. Pro potřebný výkon stačí pouze 2 baterie, to značně zjednoduší nosnou konstrukci i dobíjení akumulátorů.

## **Hodnocení pohonu pro zadaný účel**

Elektromotor má účinnost přes 90% a proto se jen 10% energie přemění na tepelnou ztrátu. Elektromotory mají malé rozměry i hmotnost vzhledem k výkonu motoru. Vyrábějí se v nejrůznějších provedeních i výkonech. Motory jsou však náchylné na teplo a jejich provozní teplota se pohybuje mezi  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+40^{\circ}\text{C}$ . Motor je třeba chladit z důvodu zahřívání vinutí elektromotoru, které se zahřívá protékáním proudem. Proto je třeba klást velký důraz na chlazení elektromotoru. Chlazení elektromotorů může být vzduchové nebo vodní.

Velkou nevýhodou je zdroj energie. Přípojka k elektrické síti by musela mít délku několik set metrů a výrazně by omezila dojezd, mobilitu i bezpečnost. Kabel takovéto přípojky by musel odolat vysoké teplotě, ale i tak je zde nebezpečí uvěznění kabelu pod sutinami a s tím spojena nemožnost návratu robotu. Alternativou k elektrické přípojce je akumulátor. Akumulátory jsou však velké a těžké. Mnohdy jsou vyrobeny z toxických prvků a hořlavého materiálu. Jsou náchylné na teplotu, která ovlivňuje kapacitu akumulátoru i životnost.

Nedostatky elektromotorů a akumulátorů se stoupajícím zájmem automobilového průmyslu postupně odstraňují. Zejména vývoj v oblasti akumulátorů se v poslední době značně urychlil. S tím to vývojem přicházejí stále novější metody skladování elektrické energie. Důraz kladený na nové akumulátory je velká kapacita, malá hmotnost a rozměry, co nejrychlejší dobití akumulátoru a cena.

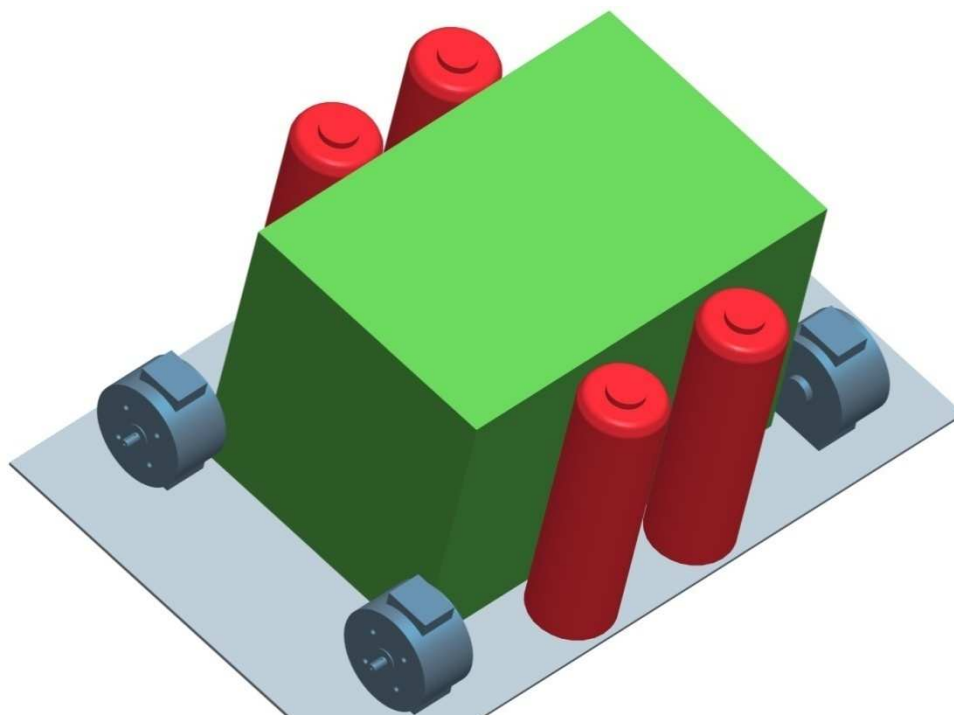
## **Shrnutí pohonů**

Z výše uvedených informací je zřejmé, že spalovací motory nejsou vhodné pro práci v daném pracovním prostředí. Hlavní překážkou použití je chlazení, které není dimenzované pro práci v prostředí s vysokou teplotou. Pneumatické motory jsou velmi vhodné pro práci v daném pracovním prostředí. Hlavním nedostatkem je velká spotřeba stlačeného vzduchu. Elektromotor je vhodný, pro práci v rizikovém prostředí, ale jen při použití chlazení motorů a akumulátorů.

## 5. Vypracované varianty řešení

### 5.1. Varianta č. 1

Pohonnou jednotku tvoří 4 elektromotory PMS 156 o výkonu 18kW. Tyto motory jsou poháněny akumulátory na principu roztavené soli. Celá tato jednotka je chlazena vzduchem z tlakových lahví, který se při vypouštění adiabaticky expanduje a ochladí se.



*Obr. 10 - varianta č. 1*

#### **Parametry elektromotoru PERM Motor PMS 156**

- Napájení z baterie se stejnosměrným napětím o hodnotě 48- 320 VDC
- otáčky motoru  $1500 \text{ min}^{-1}$  -  $6000 \text{ min}^{-1}$
- Výkon motoru  $P=6,5\text{kW}$  –  $18\text{kW}$
- Maximální krouticí moment 80Nm
- Hmotnost 28,5kg
- Účinnost  $\eta=96\%$
- Teplota prostředí  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $+40^{\circ}\text{C}$
- Chlazení vzduchem



## **ZEBRA Battery Z12**

- Napětí baterie 278V
- Dodávaný proud 152Ah při teplotě 50°C
- Hmotnost baterie 358kg
- Pracovní teplota -40°C – +50°C
- Doba nabíjení 8h pro nabití na 80%
- Výkon baterie 38kWh

Předběžný výpočet chlazení

$$1\text{kWh} = 3\,600\,000\text{J}$$

Množství tepla z motorů předané okolí za hodinu

$$Q = (4 * P * (1 - \eta)) * 3600000 = 4 * 18 * (1 - 0,96) * 3600000 = 10\,368\,000\text{ J}$$

Teplota okolí  $T_1=313\text{K}$

Teplota vypouštěného dusíku s adiabatickým exponentem  $\kappa=1,4$

$$T_2 = T_1 * \frac{2}{\kappa+1} = 313 * \frac{2}{1,4+1} = 260\text{K}$$

Hustota dusíku  $\rho_{vz}=1,25\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tepelná kapacita dusíku  $C=1300\text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Množství potřebného chladicího vzduchu pro 4 elektromotory pracující 1hodinu.

$$Q = V * \rho * c * (T_1 - T_2)$$

$$V = \frac{Q}{\rho_{vz} * C * (T_1 - T_2)} = \frac{10\,368\,000}{1,25 * 1300 * (313 - 260)} = 120\text{m}^3$$

## **tlaková láhev – LA 4 – 0517**

- Objem 80 a 140 l
- Pracovní tlak 35 MPa
- Stlačený plyn - dusík

Celková hmotnost sestavy  $\approx 1\,200\text{kg}$

Doba provozu  $\approx 1\text{-}2\text{h}$

Výstupní výkon  $72\text{kW}$

Rozměry  $D \times Š \times V - 1700 \times 1000 \times 900\text{ mm}$

Rozsah provozních teplot uvnitř jednotky  $-10^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$

### **Zhodnocení varianty**

Tato varianta disponuje dostatečným výkonem a provozní dobou. Z trakční baterie se dá pohánět i další zařízení např. efektor, rameno a další. Je však nutné tuto sestavu chladit stlačeným dusíkem, který nepodporuje hoření v okolí. Obsahuje však velké baterie, které značně zvětšují rozměry. Baterie je však vyrobena z netoxických prvků a v případě havárie by nemělo dojít k zamoření prostředí žádnými zplodinami. Velkou nevýhodou jsou však velké rozměry. Pokud by bylo toto řešení dále zpracováváno, je třeba vyřešit izolaci této pohonné jednotky tak aby nedocházelo k překročení vnitřní teploty  $40^{\circ}\text{C}$ .

#### **Výhody**

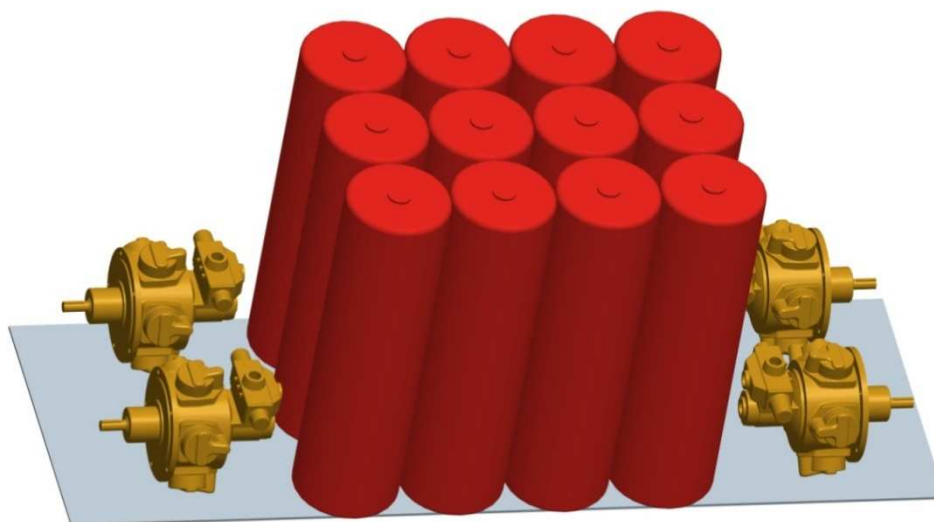
- + Dostatečný výkon
- + Dobrá hmotnost
- + Možnost pohánět energii z akumulátorů další zařízení

#### **Nevýhody**

- Velké rozměry
- Provozní teplota uvnitř jednotky je  $40^{\circ}\text{C}$
- Nutnost chladit
- Dlouhá doba nabíjení akumulátorů

## 5.2. Varianta č. 2

V této variantě je jako pohonná jednotka použit pneumatický motor poháněný stlačeným dusíkem z tlakových lahví. Vzduch vypouštěný z motorů po expanzi ochlazuje celé zařízení.



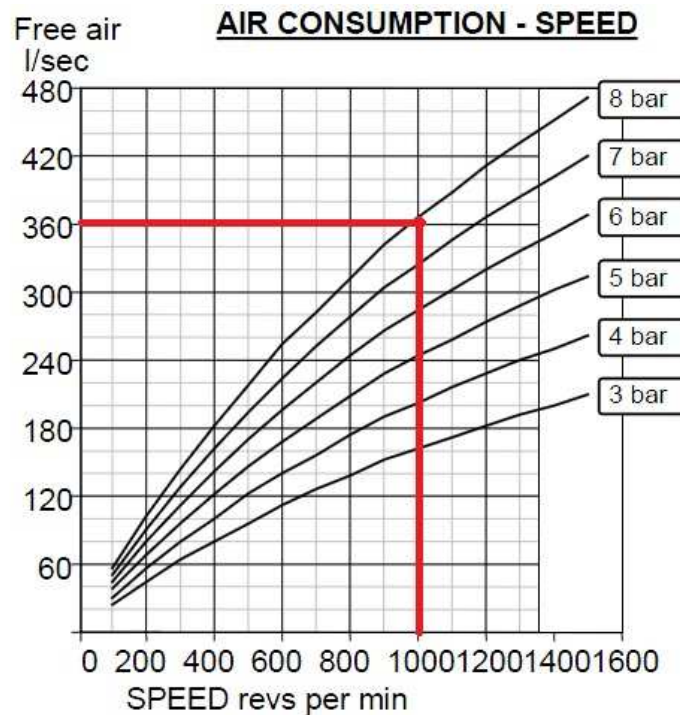
*Obr. 11 - Varianta č. 2*

### **Parametry pneumatického motoru GLOBE RM 510**

- napájení z tlakových lahví provozní tlak 0,8Mpa
- otáčky motoru  $900 \text{ min}^{-1}$  -  $1500 \text{ min}^{-1}$
- Výkon motoru 8kW – 22kW
- Maximální krouticí moment 200Nm
- Hmotnost 115kg
- Teplota prostředí  $-20^{\circ}\text{C}$  -  $+80^{\circ}\text{C}$
- Chlazení vzduchem
- Účinnost  $\approx 20\%$

### Tlaková láhev LA 4 – 0585

- Objem 140l
- Pracovní tlak 30Mpa
- Maximální tlak 45Mpa
- Stlačený plyn dusík



Obr. 12 – Spotřeba vzduchu jednoho motoru

Spotřeba nestlačeného vzduchu za 1s

$$V_s = 4 * V = 4 * 360 = 1440 \text{ l/s} = 1,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

Množství vzduchu z tlakových lahví  $V_2$  při pracovním tlaku  $p_2=0,8\text{Mpa}$  uvnitř tlakové nádoby o objemu  $V_1=140\text{l}$  a tlaku  $p_1=35\text{Mpa}$

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 \rightarrow V_2 = \frac{p_1 * V_1}{p_2} = \frac{35 * 140}{0,8} = 6,125 \text{ m}^3$$

Doba provozu pomocí 12 tlakových lahví

$$\tau = \frac{12 * V_2}{V_s} = \frac{12 * 6,125}{1,44} = 51 \text{ s}$$

celková hmotnost sestavy  $\approx 2\,250\text{kg}$

Doba provozu  $\approx 51\text{s}$

Výstupní výkon až  $88\text{kW}$

Rozměry D $\times$ Š $\times$ V –  $3000\times1100\times1300\text{ mm}$

Rozsah provozních teplot uvnitř jednotky  $-20^{\circ}\text{C} - +80^{\circ}\text{C}$

### **Zhodnocení varianty**

Tato sestava se vyznačuje velkým výkonem a výbornou odolností proti vysokým teplotám. Hmotnost a rozměry sestavy jsou velké. Doba provozu však je naprosto nevyhovující. Dlouhá doba naplnění tlakových lahví znemožňuje rychlé nasazení do opětovné akce. Napájení pneumatických motorů pomocí kompresoru není možné, protože bychom stlačovali vzduch o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ , který by se stlačováním dále oteplil. Navíc by se tento vzduch musel ještě filtrovat, aby se odstranil prach a popel obsažený ve vzduchu.

#### Výhody

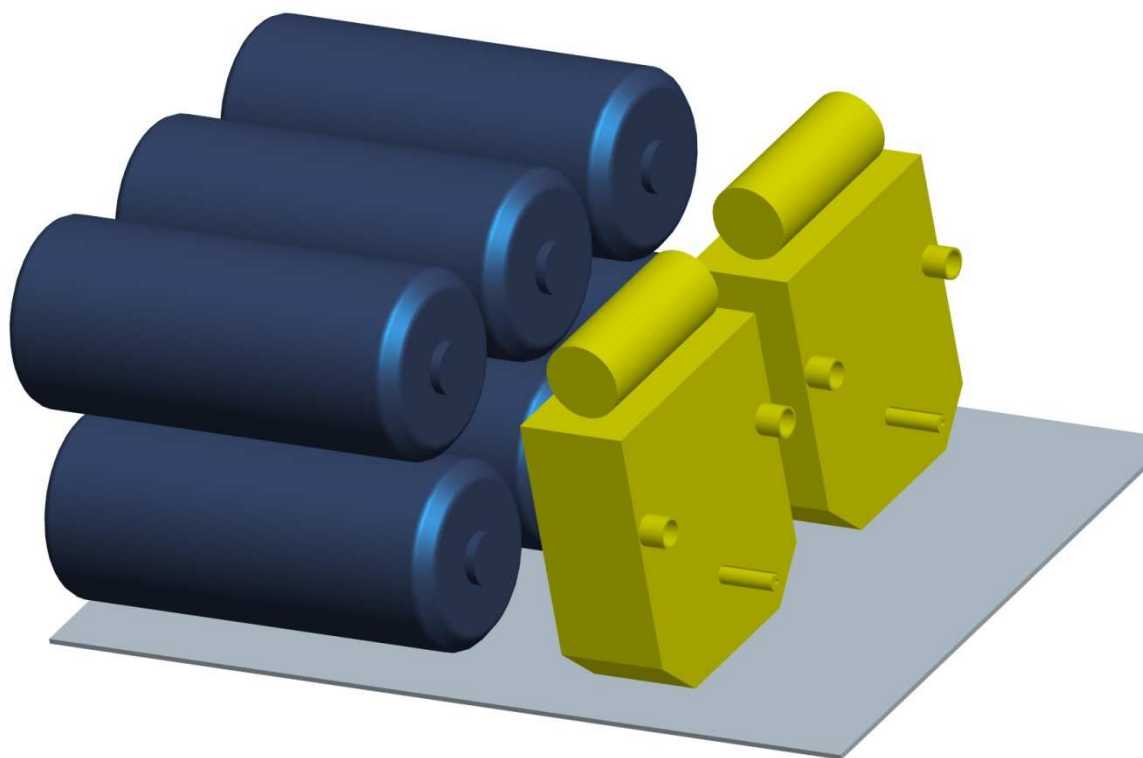
- + Dobrý výkon
- + Nemusí se chladit
- + Provozní teplota uvnitř jednotky je  $80^{\circ}\text{C}$
- + Nevýbušné palivo

#### Nevýhody

- Velká hmotnost
- Velké rozměry
- Nedostatečná provozní doba
- Dlouhá doba plnění tlakových lahví

### 5.3. Varianta č. 3

Pohonná jednotka v této variantě je realizována pomocí 2 spalovacích motorů. Tyto motory jsou chlazeny vzduchem, ze kterého si rovněž berou potřebný kyslík ke spalování.



*Obr. 13 - varianta č. 3*

#### **Parametry spalovacího motoru LOMBARDI CH1000**

- Palivo benzín
- otáčky motoru  $1800 \text{ min}^{-1}$  -  $3600 \text{ min}^{-1}$
- Výkon motoru 29,9kW
- Maximální krouticí moment 83,4Nm
- Hmotnost 57kg
- Teplota prostředí  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $+50^{\circ}\text{C}$
- Chlazení vzduchem
- Účinnost  $\approx 32\%$

## Tlaková láhev LA 4 – 0585

- Objem 80l
- Pracovní tlak 35Mpa
- Stlačený vzduch

Potřebné množství vzduchu – objem paliva v nádržích  $V_p=0,01\text{m}^3$ , hustota benzínu  $\rho=720\text{ kg/m}^3$ , minimální množství vzduchu pro spálení 1 kg paliva  $V_{vzd-min} = 12,7\text{m}^3/\text{kg}$  – viz Tab. 1

$$V = V_{vzd-min} * m_p = V_{vzd-min} * V_p * \rho = 12,7 * (0,01 * 720) = 91,44\text{m}^3$$

Množství nestlačeného vzduchu  $V_2$  při atmosférickém tlaku  $p_2=0,1\text{Mpa}$  uvnitř tlakové nádoby o objemu  $V_1=80\text{l}$  a tlaku  $p_1=35\text{Mpa}$

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 \rightarrow V_2 = \frac{p_1 * V_1}{p_2} = \frac{35 * 80}{0,1} = 28\,000\text{l} = 28\text{m}^3$$

Množství vzduchu v 6 lahvích je  $168\text{ m}^3$  což je víc než potřebujeme pro spálení benzínu v nádrži.

Výpočet chlazení

$$1\text{kWh} = 3\,600\text{ kJ}$$

$$T_1 = 27 + 273 = 300\text{ K}$$

$$T_2 = T_1 * \frac{2}{\chi + 1} = 300 * \frac{2}{1,4 + 1} = 250\text{K}$$

Teplo odvedené vzduchem z 6 tlakových lahví pokud se oteplí na  $T_3=373\text{K}$ , hustota vzduchu  $\rho=1,28\text{kg}\cdot\text{m}^3$ , tepelná kapacita vzduchu  $C=1,005\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

$$\begin{aligned} Q_v &= m * C * \Delta T = 6 * V_2 * \rho * C * (T_3 - T_2) = 6 * 28 * 1,28 * 1,005 * (373 - 250) \\ &= 26\,582\text{ kJ} \end{aligned}$$

Teplo vytvořené motorem. Při výpočtu je použit výstupní výkon motoru, protože výstupní výkon je procentuálně stejný jako teplo odvedené chladičem viz Tab. 2.

$$Q_m = P * 3600 = 59,8 * 3600 = 212\,400\text{ kJ}$$

Z výpočtů je zřejmé že motor nejsme schopni vzduchem uchladiť. Potřebovali bychom 10 krát více tlakových lahví pro chlazení motorů po dobu 1 hodiny.

celková hmotnost sestavy  $\approx 600\text{kg}$

Doba provozu  $\approx 6\text{ min}$

Výstupní výkon  $59,8\text{kW}$

Rozměry D $\times$ Š $\times$ V –  $1700\times1200\times750\text{ mm}$

Rozsah provozních teplot  $-10^{\circ}\text{C} - + 50^{\circ}\text{C}$

### **Zhodnocení varianty**

Spalovací motor v této variantě je ochlazován vzduchem z tlakových lahví, který by dále dodával potřebný vzduch pro spalování. Tato varianta poskytuje dobrý výkon avšak nedostatečnou provozní dobu. Má nízkou hmotnost a relativně malé rozměry. Celkem dobře snáší vyšší teploty. Snadno se doplňuje i palivo, a pokud by se vyřešila i rychlá výměna tlakových lahví bylo by možné velmi rychle uvedení do provozu. Je však nutné odvádět spaliny. Pohonná jednotka obsahuje hořlavé a výbušné látky.

#### **Výhody**

- + Nízká hmotnost
- + Malé rozměry

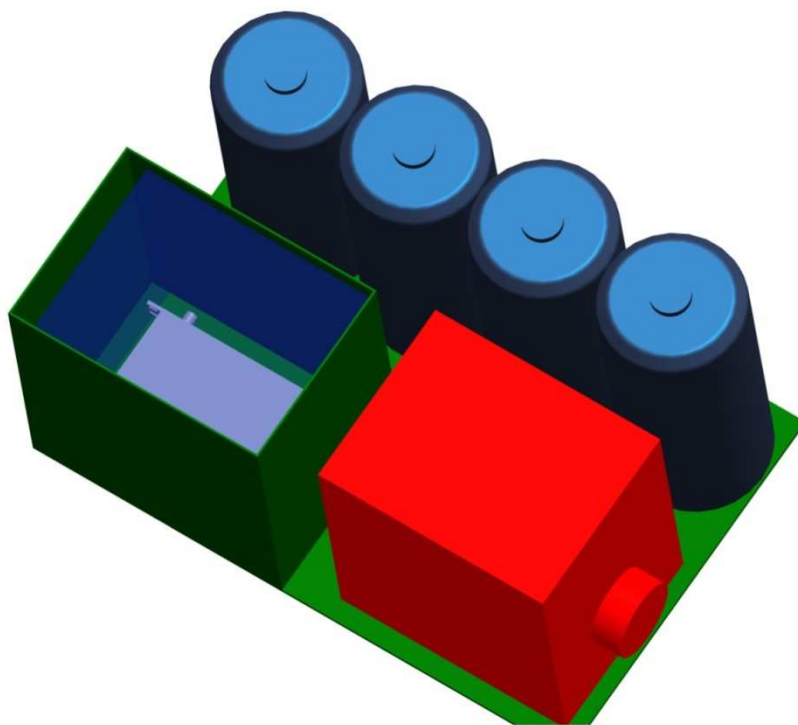
#### **Nevýhody**

- Výbušné palivo
- Musí se chladit
- Musí se dodávat kyslík pro spalování
- Musí se odvádět spaliny z motoru
- Nedostatečná provozní doba



## 5.4. Varianta č. 4

Pohonná jednotka v té to variantě je realizována pomocí diesellového motoru. Tento motor je olejem chlazený. Chladič je ponořen do vody v nádrži a ochlazován odpařováním vody. Tlakové láhve dodávají potřebný kyslík pro spalování.



*Obr. 14 – Varianta č. 4*

### **Parametry spalovacího motoru DEUTZ M2011**

- Palivo nafta
- otáčky motoru  $900 \text{ min}^{-1}$  -  $2800 \text{ min}^{-1}$
- Výkon motoru 65kW
- Maximální krouticí moment 270Nm
- Hmotnost 247kg
- Chlazení olejovým chladičem
- Účinnost  $\approx 45\%$

### **Tlaková láhev LA 4 – 0585**

- Objem 80l – stlačený vzduch
- Pracovní tlak 35Mpa

## Výpočet potřebného množství vody pro chlazení

$$1\text{kW} = 3\,600\,000\text{J}$$

Teplo odvedené chlazením je 23/45 výkonu motoru viz Tab. 2. Měrné skupenské výparné teplo vody  $L_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Výpočet množství odpařené vody za 1 hodinu.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{23 * P * 3600000}{45 * \rho * L_v} = \frac{23 * 65 * 3600000}{45 * 1000 * 2,26 * 10^6} = 0,053\text{m}^3$$

celková hmotnost sestavy  $\approx 960\text{kg}$

Doba provozu  $\approx 1\text{h}$

Výstupní výkon 65kW

Rozměry D $\times$ Š $\times$ V – 1500 $\times$ 900 $\times$ 750 mm

## Zhodnocení varianty

Varianta č. 4 poskytuje dobrý výkon a díky olejovému chlazení je možné motor chladiť odpařující se vodou. Tento typ chlazení však není podložen žádnou informací nebo zkušeností z praxe, proto se jedná pouze o teoretickou variantu. Problém je, že otočením chladiče do vodorovné polohy, se naruší oběh chladicí kapaliny v motoru a pokud se chladič ustaví do svislé polohy, dojde k nedostatečnému chlazení. Na základě pokusu je třeba ověřit, zda vůbec je možné takovýto typ chlazení provozovat. Nevýhodou je nutnost dodávání vzduchu potřebného pro spalování. Pro opětovné uvedení do provozu je třeba doplnění paliva, vody pro chlazení a výměnu tlakových lahví. Nevýhodou je že tato sestava obsahuje olej jako chladicí kapalinu a naftu jako palivo, proto by měl být důraz na ochranu před kontaktem s požárem.

### Výhody

- + Dobrá hmotnost
- + Malé rozměry
- + Dostatečná provozní doba

### Nevýhody

- Výbušné palivo
- Nedostatek informací pro realizaci
- Musí se odvádět spaliny

## 6. Výběr varianty

Nejdůležitějším parametrem se v průběhu zpracování stala provozní doba. Z uvedených informací je zřejmé, že nejvhodnější varianta je varianta s elektropohonem. Varianta č. 2 a č. 3 nevyhovují požadavku na dostatečně dlouhý provoz. A varianta č. 4 je pouze teoretická, protože nebyly získány potřebné informace k realizaci.

	Výkon sestavy	Provozní doba	Hmotnost	Rozměry
Varianta č. 1	72 kW	1 h	1200 kg	1700x1000x900 mm
Varianta č. 2	88 kW	51s	2250 kg	3000x1100x1300 mm
Varianta č. 3	59,8 kW	6 min	600 kg	1700x1200x750 mm

*Tab. 4 – srovnání variant*

Pokud by byl požadavek na vypracování variant 2 a 3 tak aby byly schopny provozu po celou zadanou dobu 1 hodiny, měly by parametry Tab. 5.

	Varianta č. 2	Varianta č. 3
Počet tlakových lahví	840	60
celková hmotnost	126 000 kg	5 000 kg
celkový objem	141 m <sup>3</sup>	6,5 m <sup>3</sup>

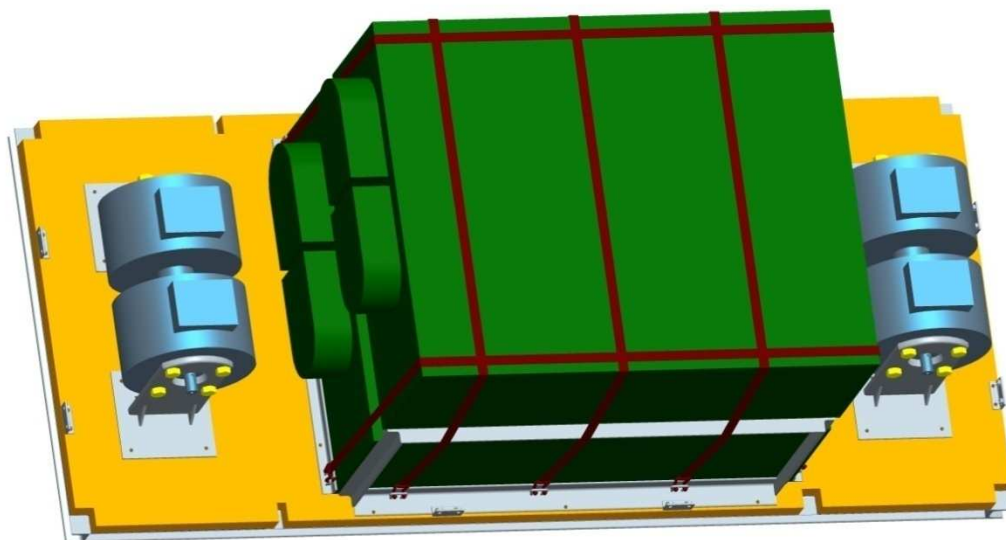
*Tab. 5 – parametry variant 2 a 3 pro 1 hodinový provoz*

Jako výslednou variantu volím variantu s elektropohonem, která splňuje všechny body požadavkového listu.

## 7. Výsledná varianta

### 7.1. Elektromotor

Pro tuto sestavu byl vybrán motor PMS 156 od firmy PERM MOTOR. Tento motor je v sestavě použit čtyřikrát. Umístění a připevnění motorů Obr. 15.



*Obr. 15 – rozmístění motorů*

Parametry motoru PMS 156 [9]

Jmenovitý výkon: 18kW

Jmenovitý krouticí moment: 28.6Nm

Maximální krouticí moment: 80Nm

Maximální otáčky: 6000/s

Účinnost: 96%

Hmotnost: 28,5kg

Napájení: 48-96 V DC nebo 320 V DC

Provozní teplota: -10°C - +40°C

Z parametrů motorů je vidět že má velmi dobré parametry účinnosti i poměru hmotnosti k výkonu. Nevýhodou těchto motorů je špatné rozmezí provozních teplot a je třeba tyto motory chladit. Motory jsou pomocí svařovaného držáku připevněny k podvozku. Mezi hřídelí motoru a stěnou je vyhrazen prostor pro spojku, brzdu a převodovku.

## 7.2.Akumulátor

Jako zdroj energie pro stejnosměrné elektromotory byly použity 4 baterie Z12 od firmy ZEBRA Batteries Obr. 16. Jedná se o baterie používající jako elektrody niklovou sůl s keramickým elektrolytem.

Parametry baterie Z12 [7]

Kapacita	76 Ah
Napětí	253 V
Energie při 2 hodinovém vybíjení	17.3kW/h
Provozní teploty	-40°C - +50°C
Hmotnost	358kg



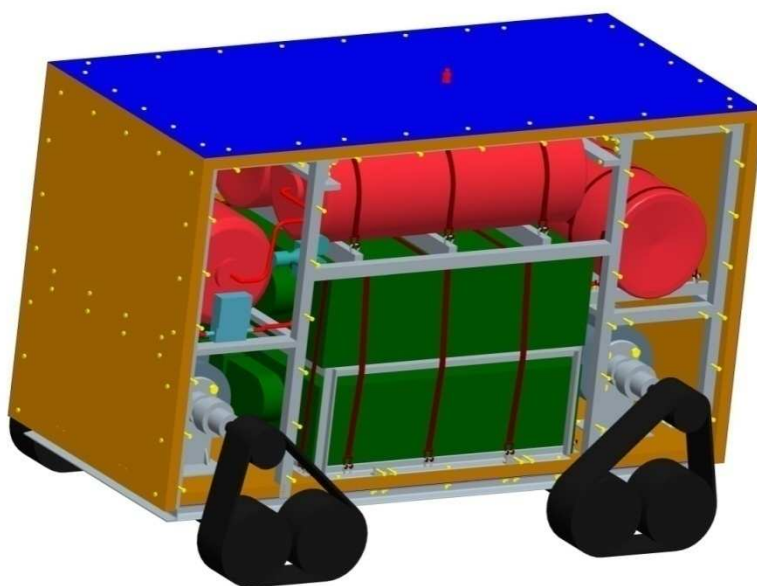
*Obr. 16 – ZEBRA Batteries – Z12*

Umístění baterií je zobrazeno na Obr. 15. Baterie jsou umístěny horizontálně a mezi sebou odděleny mezerou. Tato mezera zajišťuje proudění chladícího vzduchu mezi bateriemi. Baterie jsou uchyceny pomocí L profilů a připevněny k podvozku. Aby nedošlo k překlopení baterií od setrvačných sil, jsou tyto baterie připevněny k L profilům pomocí upínacích pásů šířky 25mm.

Nabíjení baterii probíhá pomocí nabíječky firmy ZEBRA Batteries připojené na 230 VAC. Baterie jsou bez údržbové. Počet cyklů nabíjení a vybíjení deklaruje výrobce na 3000 cyklu. Jsou netoxické a nehořlavé.

### 7.3.Krytování

Aby mohlo být dosaženo požadované provozní teploty 100°C bylo zapotřebí ochránit motory a baterie před nebezpečným žářem od požáru. K účelům této ochrany slouží vnější oplechování, které chrání před ohněm a žářem a pro potřeby izolace slouží desky z izolačního pěnového skla.



*Obr. 17 – ochranné krytování*

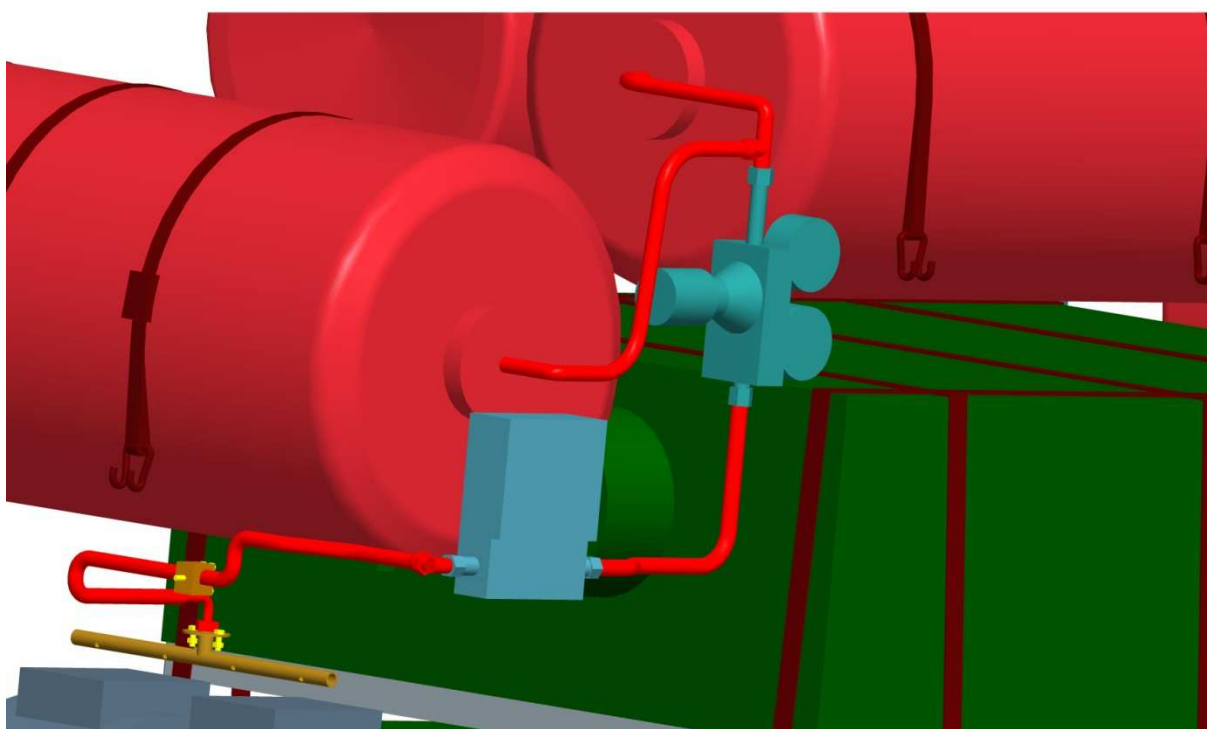
Na vnější oplechování jsou použity nerezové leštěné plechy tloušťky 1mm. Plechy jsou vyrobeny z materiálu ČSN 17 253.5, který se řadí mezi žáruvzdorné chromniklové oceli. Pro svou vlastnost snášet vysoké teploty je vhodný pro krytování, které chrání jednotku před případným plamenem. Leštěný povrch plechu odráží částečně teplo.

Izolační vrstvu chránící motory a baterie jsou použity desky z izolačního pěnového skla FOAMGLAS®F tloušťky 40mm. Mají výborné tepelné vlastnosti, jsou nehořlavé a tvarově stálé. Součinitel tepelné vodivosti je 0,048W/K\*m. Má také výborné mechanické vlastnosti. Pevnost v tlaku až 1,6 MPa.

Krytovací i izolační vrstva má výbornou chemickou odolnost. Obě tyto vrstvy jsou připevněny ke svařovanému rámu pomocí šroubů M8x50 ISO 4017 – A2-80. Jedná se o nerezové šrouby, které mají výbornou tepelnou i chemickou odolnost.

#### 7.4. Chladicí systém

Aby bylo možno dlouhodobého provozu ve vysokých teplotách, musí být pohybová jednotka chlazená. Chlazení zajišťuje stlačený vzduch v tlakové láhvi, který při uvolnění do atmosféry expanduje a dochází k jeho ochlazení. Tento jev se nazývá izoentropický neboli adiabatický děj.



*Obr. 18 – Chladicí soustava*

Základní prvek chladicí soustavy jsou dvě 80 a dvě 140 litrové tlakové láhve se stlačeným dusíkem. Tlaková láhev je vyrobena firmou VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. jedná se o typ LA 4 -0517 [11]. Pracovní tlak této tlakové láhve je 35MPa. Tlaková láhev je připevněna pomocí upínacích pásů. Po vyprázdnění tlakové láhve je třeba prázdnou tlakovou láhev vyměnit za plnou. Pro výměnu je nezbytné demontovat kryt a izolaci. Výměna láhve je zjednodušena pomocí pneumatické rychlospojky a upínacích pásů.

K tlakové láhvi je přimontován redukční ventil. Maximální vstupní tlak tohoto ventilu je 30 MPa a maximální výstupní tlak je 1MPa výstupní tlak lze redukovat dle potřeby. Maximální průtok je 30 m<sup>3</sup>/h. Díky tomuto redukčnímu ventilu snížíme výstupní tlak a můžeme použít průtokový regulátor. Na redukční ventil je připojena pneumatická rychlospojka pro rychlejší výměnu tlakové lahve.

Pro účely průtokové regulace je v chladicí soustavě umístěn digitální tlakový regulátor SMART TRACK 2 C100M Obr. 19, [10]. Tento průtokový regulátor pracuje s plyny o tlaku maximálně 0,4MPa. Na tento tlak je plyn zredukován pomocí redukčního ventilu.

Maximální tlak:	0,4MPa
Maximální průtok:	300l/min
Napětí:	24 VDC
Provozní teploty:	0°C - +50°C

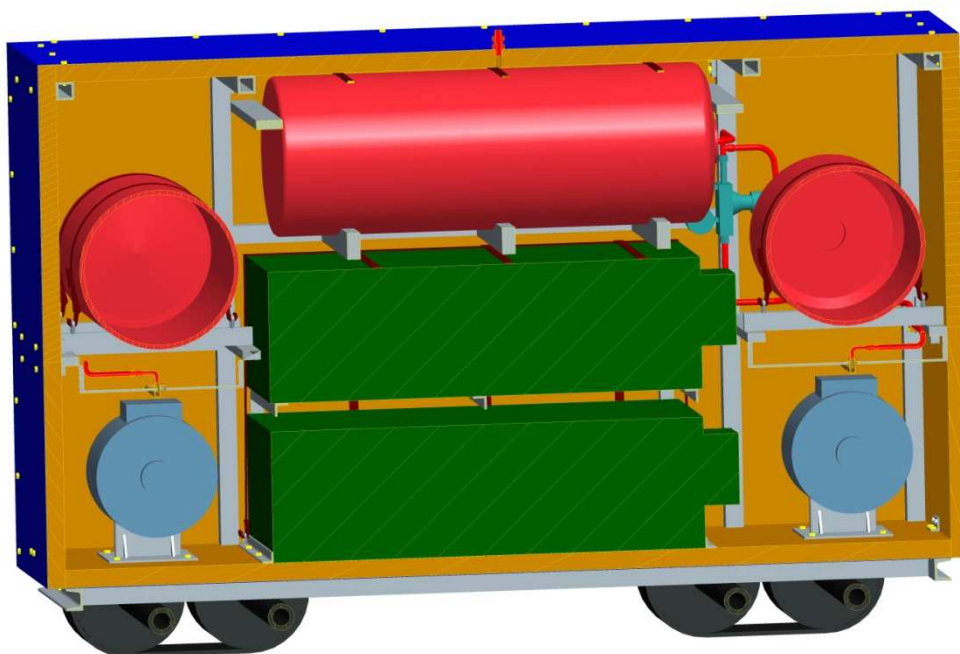


*Obr. 19 – Průtokový regulátor C100M*



Celá chladicí soustava je propojena pomocí ocelových a polyamidových hadic a armatur. Všechny tyto komponenty jsou zakončeny trubkovým závitem. Zobrazení hadic v modelu i výkrese je pouze orientační. V místech kde by mohlo dojít ke kontaktu mezi hadicí a rotačními součástmi jsou hadice uchyceny pomocí držáku.

Celá chladicí soustava je zakončena pomocí dýzy. Dýza byla navržena podle zákonitostí konstrukce Lavalovy dýzy. Stěny Dýzy jsou rozevřeny o úhel  $8^\circ$  a to proto, aby nedošlo k odtržení proudu vzduchu od stěny a nedocházelo tak k turbulencím uvnitř dýzy. Dýzy jsou umístěny tak aby proud vzduchu směřoval okolo motorů, které musí být chlazeny.

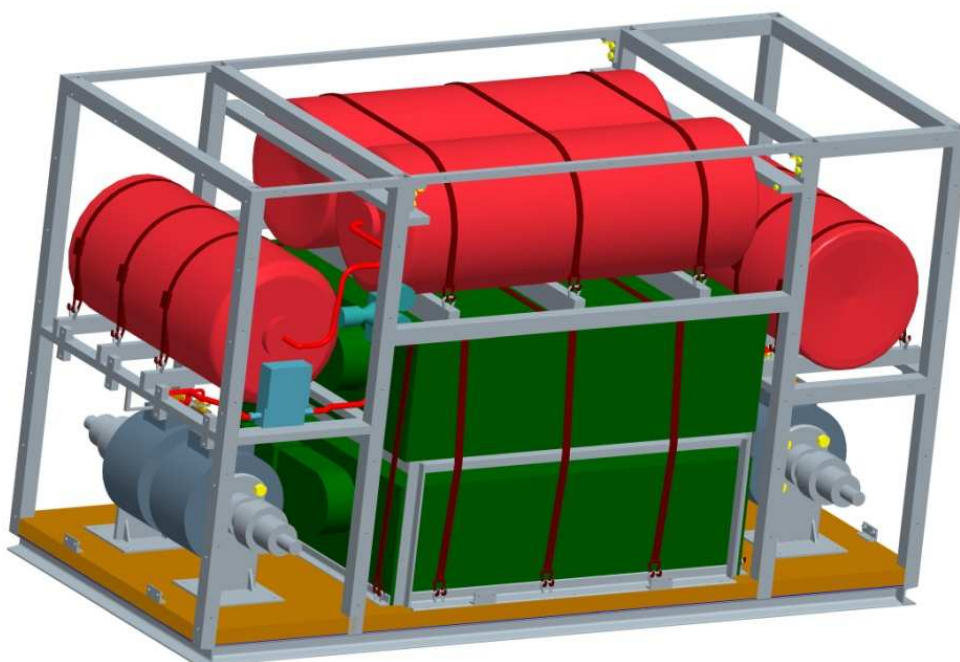


*Obr 20 - řez pohybovou jednotkou*

Aby nedocházelo k hromadění vzduchu uvnitř pohybové jednotky je na střeše umístěn jednocestný ventil. Otevírací tlak je 0,1MPa a tak dojde k vyrovnání tlaku mezi vnitřním prostředím jednotky a okolím. Zahřátý vzduch uvnitř jednotky stoupa na horu a odchází jednocestným ventilem pryč. Jednocestný ventil je vyroben z nerezové oceli.

## 7.5. Vnitřní konstrukce

Krytovací, izolační a chladicí soustava je držena pomocí vnitřní konstrukce. Tato konstrukce je tvořena dvěma svařovanými díly, které jsou spojeny pomocí přivařených tyčí. Celá konstrukce je přivařena k podvozku. Prvky konstrukce jsou tvořeny čtvercovými tyčemi o délce hrany 40mm a tloušťce 5mm. Konstrukce je vyrobená z materiálu 11 373.0.

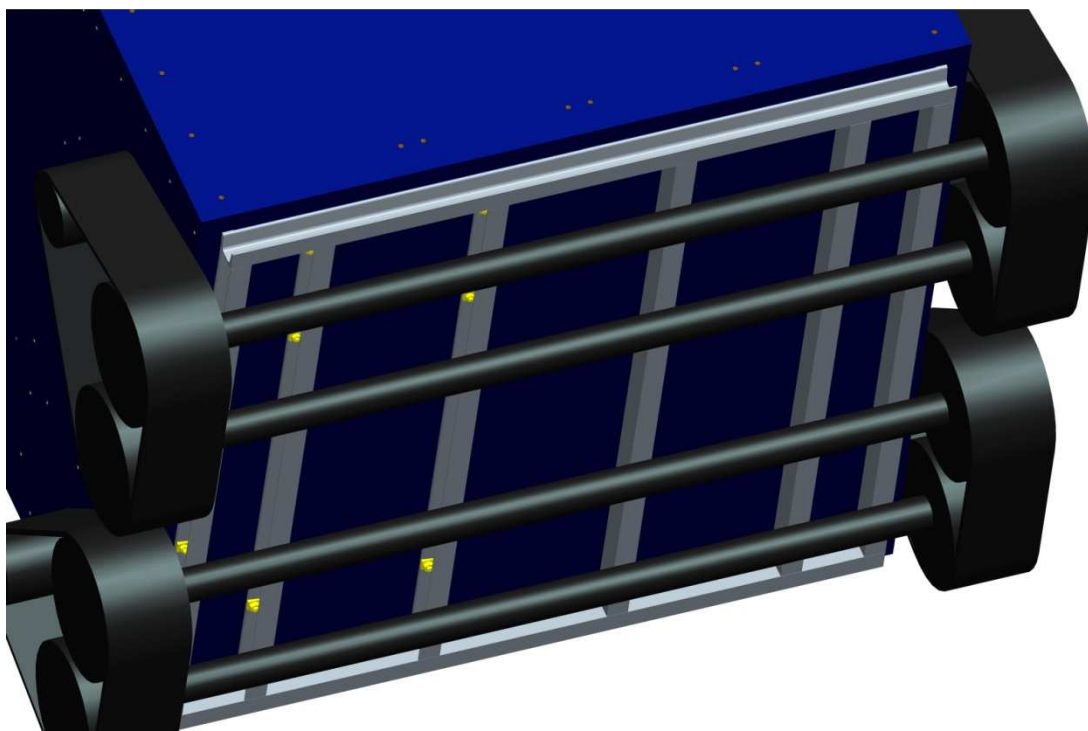


*Obr. 21 – vnitřní konstrukce*

Pro lepší těsnost mezi konstrukcí a izolačními deskami je na místech styku nanášena vrstva motorové těsnící hmoty. Tato hmota je přílnavá ke všem povrchům a má velmi dobrou chemickou odolnost. Snáší teploty od  $-50^{\circ}\text{C}$  až po  $+250^{\circ}\text{C}$ . Díky této hmotě zamezíme vniku teplého vzduchu, žhavých částí případně chemických látek z prostředí dovnitř jednotky.

## 7.6.Podvozek

Celá pohybová jednotka je umístěna na podvozku vytvořeného ze svařovaných profilů U-50/B. Materiál profilů je 11373.0. Nosnost podvozku byla spočtena staticky. Takto byl výpočet proveden z důvodu neznalosti dynamiky jednotky a použitého lokomočního ústrojí, které nebylo předmětem práce.

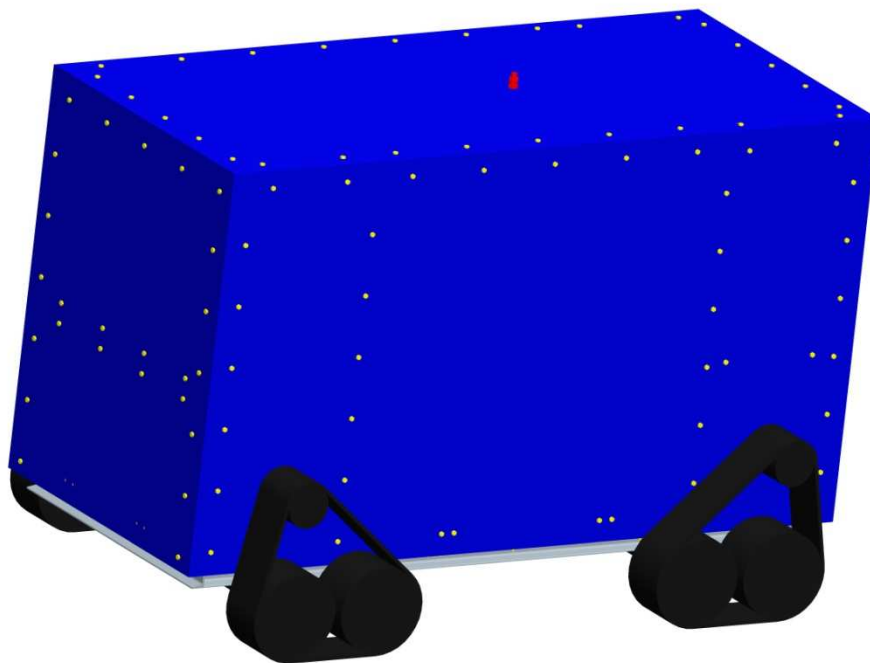


*Obr. 22 – Podvozek*

Pro zvýšení tepelné a chemické odolnosti podvozku je použita vypalovací barva BALAKOM SILIKOM 400 2v1. Tato barva odolává teplotám do 400 °C. Výrobce rovněž zaručuje výbornou chemickou odolnost. Nátěr slouží i jako antikoroziční ochrana. Nevýhoda této barvy je její nutnost vypálení při teplotách 250°C po dobu 1 hodiny.

## 7.7.Konečné parametry výsledné varianty

Jako výsledná varianta byla vybrána varianta s elektropohonem. Tato varianta byla rozpracovaná do konstrukčního návrhu. Použité lokomoční ústrojí nebylo součástí práce a je proto pouze orientační.



*Obr. 23 – výsledná varianta*

Konečné parametry sestavy:

Výstupní výkon: 72kW

Rozměry délka/šířka/výška: 2082/1300/1441

Celková hmotnost: 1928kg

Doba provozu:  $\approx$ 1-2 hodiny

Maximální provozní teplota: 100°C

Z konečných parametrů je vidět, že byly splněny všechny podmínky požadavkového listu.

## 8. Doplňující subsystémy

Obsahem této práce bylo vypracovat pohonnou jednotku, tato jednotka však potřebuje ke své správné funkci vypracovat další subsystémy nezbytné k provozu.

Lokomoční ústrojí pohonné jednotky nebylo v této práci řešeno. Je nutno udělat konstrukční řešení spojky, brzdy, převodovky a lokomočního ústrojí. Pomocí zjištěných dynamických vlastností vybrané varianty zkontrolovat již navržené části jako je podvozek či jiné vybrané součásti. Přitom je třeba dodržet tepelnou odolnost. Pro vyšetření předběžných kinematických vlastností byl použit výpočet jízdních vlastností elektromobilů [8].

Senzorický subsystém je třeba vypracovat pro sledování vnějšího i vnitřního prostředí. U vnějšího prostředí je potřeba sledovat okolí pomocí kamer nebo různých snímačů. Je třeba také sledovat teplotu okolního prostředí, aby se pohonná jednotka nenacházela v prostředí, pro které nebyla navržena. Uvnitř pohybové jednotky je potřeba sledovat teplotu v okolí motorů a baterii. Pokud by teploty uvnitř jednotky stouply, na základě naprogramovaného algoritmu by docházelo k přídatnému chlazení pomocí průtokového regulátoru.

## **Závěr**

Dle zadaných požadavků byly navrženy 4 pohybové jednotky pohybující se v prostředí pro člověka nebezpečném. Z těchto 4 jednotek byla na základě zhodnocení parametrů vybrána varianta s elektropohonem.

Varianta s elektropohonem byla vypracována podrobněji s popisem funkcí jednotlivých dílů. Všechny díly byly buď navrženy, nebo nalezený v katalozích výrobců. Potřebné výpočty jsou v příložené výpočtové dokumentaci. V příloze je přiložen i sestavný výkres. Výsledná varianta byla vymodelována programem Pro ENGINEER.

Na závěr byly vypsány potřebné lokomoční, senzorické a řídicí subsystémy. Tyto subsystémy jsou nezbytné pro správnou funkci celé pohybové jednotky.

Před samotnou realizací doporučuji projít katalogy výrobců baterii. Zejména v delším časovém období může dojít k výraznému zlepšení vlastností baterii. Toto doporučení je z vlastní zkušenosti, kterou jsem při návrhu této jednotky získal.

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval panu Ing. Milanu Miholovi za vedení bakalářské práce a za připomínky při jejím vypracovávání.

## Literatura

### Tištěná:

- [1] KADLEC, Z.; *Termomechanika: návody do cvičení*. 2. vydání. Skripta VŠB - TU Ostrava, 2008. 97 s. ISBN 978-80-248-1736-1.
- [2] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144s. ISBN 80-248-0626-6.
- [3] KYSELA, L.; TOMČALA, J. *Spalovací motory I*. 1.vydání. Skripta VŠB - TU Ostrava, 2003. 100 s. ISBN 80-248-0435-2.
- [4] KYSELA, L.; TOMČALA, J. *Spalovací motory II*. 1 vydání. Skripta VŠB - TU Ostrava, 2004. 74 s. ISBN 80-248-0628-2.
- [5] LEINVEREBER, J.; *Strojnické tabulky*. 3. vydání. 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
- [6] VLK.F.; *Vozidlové spalovací motory*. 1.vydání. Brno, 2003.580 s. ISBN 80-238-8756-4.

### Elektronická:

- [7] CEBI. [cit. 2010-5-03]. <http://www.cebi.com>
- [8] Elektromobily.org. [cit. 2010-5-10]. <http://www.elektromobily.org>
- [9] Perm Motor. [cit. 2010-2-10]. <http://www.perm-motor.de>
- [10] Sierra Instruments. [cit. 2010-5-03]. <http://www.sierrainstruments.com>
- [11] VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. [cit. 2010-2-10].  
<http://www.vitkovicecylinders.cz>
- [12] Wikipedia. [cit. 2010-2-10]. <http://cs.wikipedia.org>



## **Seznam příloh**

- A. Sestavný výkres B1 - SED398 – S1
- B. Výpočtová dokumentace
- C. Datové médium s prací v elektronické podobě
- D. Výpočet jízdních vlastností